

Telemetría aplicada al monitoreo y control de la válvula La María PK165*¹

[Telemetry applied to the monitoring and control of La Maria PK165 valve]

HENRY DAZA², OMAR ANTONIO VEGA³

RECIBO: 20.03.2014 – APROBACIÓN: 03.08.2014

Resumen

En este artículo se presenta la aplicación de telemetría y automatización para el control de una válvula remota (La María PK165) con el fin de optimizar los tiempos de operación de la misma y evitar la contaminación de las fuentes hídricas en el municipio de Santa Rosa de Cabal por derrame de petróleo del poliducto de Ecopetrol entre Puerto Salgar y Cartago. Implica el diseño e implementación de equipos de telemetría y automatización para determinar su viabilidad utilizando el actuador neumático; desarrollar pruebas de campo para realizar los ajustes necesarios en la fase de prueba; establecer las mejoras y acondicionamiento de seguridad y obra civil para garantizar la confiabilidad y correcto funcionamiento de los equipos; emplear energía fotovoltaica y determinar las variables para la telemetría.

Palabras Clave: Telemetría, Monitoreo, automatización, Control de Procesos

* Modelo para la citación de este artículo:

DAZA, Henry & VEGA, Omar Antonio (2014). Telemetría aplicada al monitoreo y control de la válvula La María PK165. En: Ventana Informática No. 31 (jul-dic). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 43-58. ISSN: 0123-9678

- 1 Artículo de investigación científica y tecnológica proveniente del proyecto *Telemetría aplicada al monitoreo y control de procesos en la industria petroquímica*, ejecutado en el periodo 01/2012-06/2013, en la empresa manizaleña *Telemetría y Automatización Ltda.* [Presentado para optar al título de Especialista en informática y Computación, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales, por parte del primer autor, con asesoría del segundo].
- 2 Licenciado en Áreas Técnicas, Tecnólogo en electricidad, Tecnólogo en electrónica. Instructor Sena (Manizales, Caldas, Colombia). Correo electrónico: henrydaza@misena.edu.co
- 3 Ingeniero Agrónomo, Esp. en Informática y Computación, MSc. en Orientación y Asesoría Educativa, MSc. en Educación.Docencia, PhD(c) en Ingeniería Informática: Sociedad de la Información y el Conocimiento. Líder del grupo de investigación 'Sociedad de la Información y el Conocimiento'. Profesor titular, Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Correo electrónico: ovega@umanizales.edu.co

Abstract

In this article an application of telemetry and automation for controlling a remote valve (La Maria PK165) to optimize operating times of it and avoid contamination of water sources in Santa Rosa de Cabal spill occurs oil Ecopetrol pipeline between Puerto Salgar and Cartago. It involves the design and implementation of automation and telemetry equipment for viability using the pneumatic actuator; develop field tests to make adjustments in the test phase; establish improvements and refurbishment of safety and civil works to ensure reliability and proper operation of equipment, use photovoltaics energy and identify variables for telemetry.

Keywords: Telemetry, Monitoring, Automation, Process Control

Introducción

Una estrategia de mitigación ambiental por derrames de combustible en el poliducto Puerto Salgar – Cartago perteneciente a Ecopetrol, es el diseño e implementación de un sistema de Control Automático remoto y de telemetría utilizando energía solar para la válvula La María PK165, ubicada en el municipio de Santa Rosa de Cabal (Risaralda, Colombia).

La telemetría GPRS es un sistema fiable y seguro, de amplia cobertura geográfica y de ámbito transnacional mediante los acuerdos de *roaming* existentes entre los distintos operadores móviles. La introducción en el mercado de equipos compactos (E/S + PLC + GPRS), ha reducido considerablemente tanto el tiempo de desarrollo como el costo final del proyecto.

El perfil de la línea presenta una gran pendiente, factor favorable para la contaminación de la quebrada del área de influencia de la Subestación La María, a pesar de cerrar las válvulas en la planta de Manizales, lo cual justifica la mitigación ambiental a través del proyecto descrito en este artículo. En el despliegue de la Interfaz Hombre Máquina (HMI sala de control –operaciones Manizales), su estado normalmente abierta se muestra con color rojo. Es de anotar que, de acuerdo con las indagaciones realizadas en Colciencias, Bibliotecas virtuales y de las universidades locales, no se encontraron documentos de esta magnitud que abordaran la telemetría GPS.

El artículo presenta inicialmente un acercamiento teórico a GPRS, telemetría, automatización y sistemas de control, para luego hacer la descripción del procedimiento utilizado en el proyecto, y así presentar los resultados obtenidos, al igual que las conclusiones. El presente

trabajo podrá ser utilizado, seguramente, en casos similares de la geografía colombiana.

1. Fundamento Teórico

1.1 Servicios generales de paquetes por radio (GPRS, General Packet Radio Services)

GPRS «es una tecnología que transmite datos por medio de *paquetes* y comparte un rango de frecuencias que pertenecen a una red GSM⁴. La conmutación de paquetes es el procedimiento más apropiado para la transmisión de datos, debido a que los datos anteriormente se transmitían mediante conmutación de circuitos, dicho procedimiento es el más adecuado para la transmisión de voz» (Borbor, Bravo & Espinoza, 2011, 11). Sus características, aseguran Borbor, Bravo & Espinoza (2012, 12) se resumen en: «Velocidad de transferencia de hasta 144 Kbps, Conexión permanente. Tiempo de establecimiento de conexión inferior al segundo, Pago por cantidad de información transmitida, no por tiempo de conexión y Beneficios de un computador personal pero de menor tamaño⁵».

«Puede hacerse una analogía con el protocolo TCP/IP en el que las peticiones de la red y el envío de información se hace por medio de direccionamiento IP, en este caso se emplea un APN (Access Point Name) dando así a cada dispositivo un identificador, para el caso de GSM se hace por medio de la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) que es una tarjeta capaz de almacenar la información suficiente del usuario para que se pueda desmontar de un equipo celular e insertar en otro teniendo las mismas prestaciones de la red» (Ortiz, 2011, 41-42).

Saravia, Ruiz & Calmet (2013, 134), señala que a menudo se describe como 2,5 G, o sea una tecnología intermedia entre la segunda y la tercera generación de tecnología móvil digital, permitiendo que el usuario puede utilizar el teléfono móvil y el ordenador de bolsillo para navegar

4 De acuerdo con Almazán & Martínez (2010, 1), *Group Special Mobile*, GSM, es un estándar creado por CEPT, luego desarrollado por ETSI, para teléfonos móviles, como sistema abierto, no propietario y evolutivo.

5 «En los sistemas GPRS los recursos de radio son utilizados solo cuando se están enviando o recibiendo datos, es decir, una vez que la estación remota inicia la sesión, puede permanecer conectada durante el tiempo que requiera y los costos por el uso del servicio están en función de la cantidad de datos transmitidos, a diferencia de GSM donde el cobro se lo realiza por el número de mensajes enviados y no por la cantidad de información contenida en los mensajes, por lo que resulta mucho mejor utilizar la red GPRS en lugar de envío de SMS para la transmisión de los datos» Quichimbo & Reyes (2012, 70).

por Internet, enviar y recibir correo, y descargar datos y soportes, así como realizar videoconferencias y utilizar mensajes instantáneos.

Señalan Quichimbo & Reyes (2012, 13), que para integrar GPRS en una arquitectura GSM existente, deben ser incorporados los GSN (Nodos de soporte GPRS), responsables de la entrega y ruteo de los paquetes de datos. Tales GSN se dividen en dos tipos: - SGSN (*Serving GPRS support node*), que monitorean el estado de las estaciones móviles y rastrear su movimiento dentro del área específica, así como es responsable del establecimiento y administración de las conexiones de datos entre el usuario móvil y la red de destino, y - GGSN (*Gateway GPRS support node*), encargados de convertir los paquetes provenientes de los SGSN en un PDP (*Packet Data Protocol*) apropiado, además de las funciones de autenticación y tarificación.

«GPRS emplea TDMA (Time Division Multiple Access) para que varios usuarios compartan un canal de frecuencias, si el usuario envía información será un canal de subida, si recibe información se tratará de un canal de bajada. La longitud de los paquetes corresponde a la ranura de tiempo de GSM.

Sobre SMS en telemetría, tiene un gran potencial pues es sumamente empleado como alarmas, esto es, se define un umbral para ciertas variables de instrumentación y se programa el dispositivo en cargado de adquirir los datos y de controlar un módem GSM/GPRS para que al rebasar cierto nivel envíe una alarma SMS a cualquier teléfono celular de algún Ingeniero en campo» (Ortiz, 2011, 41).

Las ventajas de estas tecnología son resumidas por Morera (2012, 56), así: «- *Su implementación es fácil de realizar y su costo y mantenimiento son relativamente bajos. – Flexibilidad a la hora de adquirir equipos. – Buena potencia de transmisión, tiene una buena área de cobertura. – Buen ancho de banda, el cual puede ser compartido por gran cantidad de usuarios. – Brinda servicios múltiples y provee calidad en los servicios de voz y datos*». Asimismo, las desventajas son: «*Velocidad de transmisión moderada. – Requiere una gran cantidad de radio bases para alcanzar a cubrir áreas extensas. – El exceso de usuarios compartiendo el mismo ancho de banda, puede llegar a causar la saturación del sistema*» Morera (2012, 57).

1.2 Telemetría

Procedente de las palabras *tele* y *metron*, Marino (2011, 68), la considera como «*una tecnología que permite la medición de las características de un objeto (como la temperatura ambiente, o la presión existente en una tubería) y transportar los resultados a una estación distante donde*

son desplegados, guardados y analizados», en tanto, Oyarce (2009, 11), señala que «consiste en la medición de cualquier variable tanto física como eléctrica, medida a través de un sensor o cualquier otro dato que tenga la característica de ser accesible en forma analógica o digital, sin necesidad de estar físicamente en el lugar en donde se realiza», señalando, además que «la gran utilidad de la Telemetría es la de la obtención de datos distribuidos. (...) No se discute lo que se desea hacer con ellos, sino que simplemente se desean entregar de manera tal, que trabajar con ellos sea lo más simple y rápido posible según la configuración requerida por el usuario» (Oyarce, 2009, 12).

«Con un sistema de telemetría se pueden lograr ventajas como:

- Elimina el error humano en la medición.*
- Disminución del tiempo de la recopilación de las mediciones tomadas.*
- Toma de lectura de un gran número de estaciones meteorológicas desde un solo lugar.*
- Bajos costos de lectura de la información.*
- Almacenamiento de la información en archivos con diferentes formatos para su procesamiento»*

(Jaramillo & Tinoco, 2011, 11).

Acerca de la arquitectura de un sistema típico de telemetría, de acuerdo con Marino (2011, 69), puede asegurarse que sus elementos básicos son:

- Sensores y/o actuadores, dispositivos digitales o análogos que se encargan de realizar la medición en sí, en el caso de los sensores, y/o ejecutar los comandos recibidos, para los actuadores.
- Unidades de Telemetría Remota (RTU, *Remote Telemetry Units*), pequeñas unidades computarizadas o microcontroladas que sirven como punto local de recolección de datos de los sensores y transmiten los comandos recibidos a los actuadores.
- Medio de transmisión, canal de comunicación usado entre el RTU y la estación central.
- Suministro de energía, directamente de una red pública o mediante baterías recargables automáticamente (a partir de sistemas de energía solar, por ejemplo).
- Estación central, que es el dispositivo donde se reciben las mediciones de los sensores, se acumulan y se procesan.

1.3 Automatización

Ponsa & Granollers (2009, 2), citando a la Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas, define «la automática como el conjunto de métodos

y procedimientos para la substitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales».

«Actualmente los sistemas automatizados con tecnología inalámbrica están teniendo una amplia aceptación y gran desempeño en todos los sectores de la industria, dado que los beneficios de esta tecnología son claros desde el punto de vista de la eficiencia, es decir, ahorro de cableado, posibilidad de comunicarse con equipos de difícil acceso, flexibilidad en la instalación, confiabilidad, reducción del número de paradas no deseadas por fallos de comunicaciones, entre otros aspectos.

Hoy en día el uso de las redes inalámbricas puede facilitar la operación y programación de los PLC [controladores lógicos programables] en lugares donde las computadoras no pueden permanecer en un solo sector de una planta industrial» (Durán & Castro, 2012, 27).

Aseguran Ponsa & Granollers (2009, 6), que el marco metodológico de un proyecto de automatización comprende las fases de automatización, supervisión, interacción, implementación y pruebas; así como también, señalan la existencia de complejos procesos de automatización, donde se requiere de la colaboración entre los diversos departamentos de la empresa (gestión, logística, automatización, distribución, etc.).

En el caso de González & Rodríguez (2010, 67), los objetivos principales de su proyecto son obtenidos así:

- Implementación de un sistema electromecánico para automatizar una válvula de aguja, la cual se encarga de inyectar gas inerte para formar la burbuja, mediante un microcontrolador; en donde una señal PWM se manda a un circuito puente H para suministrar la potencia requerida a un motor de DC.
- Un generador de pulsos que realiza la función de mandar abrir y cerrar una válvula electromagnética que controla el desplazamiento del pistón líquido, con un relevador controlado con un pulso.
- Un velocímetro láser que sigue el desplazamiento del pistón líquido usando las ventanas del tubo U, se implementa mediante un láser, óptica y un fotodiodo. Luego, del diseño del circuito eléctrico, la programación del microcontrolador, la transmisión mecánica y se integran las partes en un gabinete electrónico, se realizan pruebas para la calibración del dispositivo de inserción

de gas inerte sin carga y pruebas en prototipo para obtener su curva de calibración.

1.4 Sistemas de control

Para responder a la pregunta ¿qué es un sistema de control?, Álvarez (2004, 5), señala: «*Un sistema dinámico puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida. Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control*».

De acuerdo con Hernández & Lezama (2010, 35-36), los sistemas de control, según su comportamiento, puede clasificarse en:

- Sistemas de control de lazo abierto: la acción de control está muy relacionada con la entrada, pero su efecto es independiente de la salida. Estos sistemas se caracterizan por tener la capacidad para poder establecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de lograr la exactitud deseada y por no tener problemas de inestabilidad, y
- Sistemas de control de lazo cerrado: se caracterizan por la existencia de medidores de las variables de salida que permiten corregir las deficiencias de los sistemas de lazo abierto, por lo que son los de mayor uso. En estos sistemas la acción de control (que se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada) es muy dependiente de la salida, y las perturbaciones, aunque sean desconocidas, son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre la variable de salida.

1.5 Algunos antecedentes

A continuación se listan algunos proyectos donde se utiliza la telemetría GPRS en fluidos:

- Almario, Ramón y Ramón (2011), diseñan un sistema de adquisición, almacenamiento y registro de datos para el monitoreo de la calidad de agua.
- Díaz (2005), presenta el estudio, diseño e implementación de un sistema de Telemetría Digital y el desarrollo de un software especial capaz de interpretar las señales vía radio, permitiendo conocer la información exacta sobre el evento que se sucede en el lugar de origen de la señal.
- Quichimbo & Reyes (2012), diseñan e implementan un sistema de monitoreo remoto de la red de agua potable dentro del campus de la UTPL.

- Rosero (2010), presenta el diseño de un sistema SCADA para la distribución de agua potable en la ciudad de Quito.
- Salas (2004), desarrolla un plan de expansión tecnológica en telemetría apalancado con nuevas tecnologías y tendencias de negocios actuales para operaciones en producción petrolera en el occidente venezolano.
- Wang, Hao & Wei (2010), introducen un nuevo tipo de medición de la calidad del agua a distancia y sistema de monitoreo basado en WSN y la red GPRS, utilizando la red inalámbrica de sensores basados en la red Zombi y GPRS.

2. Metodología

2.1 Fase de prueba

Se realiza un análisis de las necesidades y requerimientos, a partir de visitas de campo a la subestación remota La María y la Planta de Ecopetrol Manizales, definiendo: - Adquirir un actuador con accionamiento neumático, - Comprar módulos de Telemetría marca *Inventia* de fabricación polaca, - Realizar un sistema de generación de energía eléctrica autosostenible en la subestación La María, ya que no cuenta con suministro eléctrico, e - Incorporar sensores de densidad de flujo y presión en la entrada y salida de la línea.

Después de contar con los elementos y equipos requeridos para el diseño del proyecto, se realizan las pruebas sobre: - Comunicación de los equipos de telemetría utilizando protocolos RS232 y MODBUS-RTU, - Integración e interconexión equipos de telemetría la Subestación La María, como fuente de transmisión para la activación del actuador neumático ubicado en la planta de Ecopetrol como receptor (en Manizales) utilizando GPRS, y - Empleo de una pipa de Nitrógeno como fuente de suministro neumático, debido a la carencia de energía eléctrica en el sitio.

A partir de las pruebas realizadas se da viabilidad al proyecto y se procede con la fase de Diseño.

2.2 Fase de diseño

En vista de las condiciones físicas de la caseta de la subestación La María, en donde se encuentra la válvula de accionamiento manual, se procede a realizar una propuesta de obra civil que mejorara las condiciones de seguridad y protección de los equipos a implementar en el proyecto tal y como se evidencia en la fase de implementación (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de la válvula y vistas de la caseta

En la Figura 2 se visualizan los componentes del Sistema de Control del Sistema Supervisor SCADA RSVIEW32 de Rockwell, que emplea Ecopetrol:

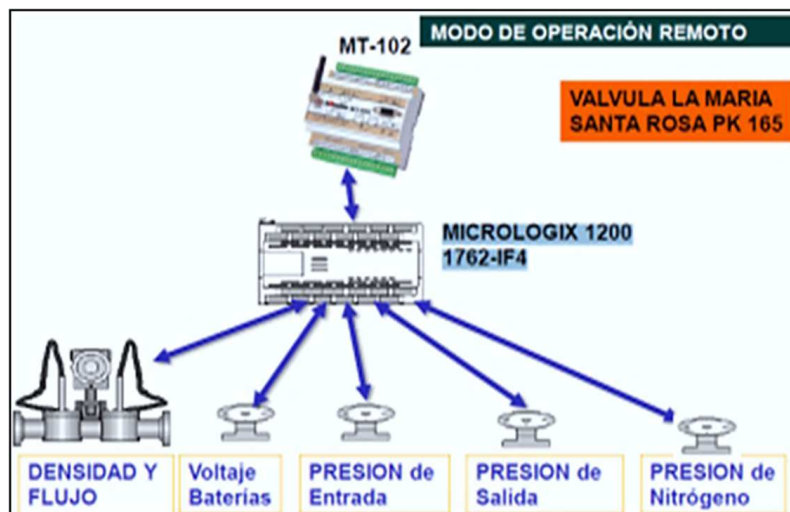


Figura 2. Modo de Operación Remoto con Sensores y Actuadores empleados

- Se utilizan sensores *Endres +houser* para medir la presión de entrada y salida de la línea.
- Para medir la densidad y el flujo se utiliza un sensor no intrusivo marca *General Electric Modelo Parametrics*.

- Para medir el voltaje de las baterías se utiliza un sensor *Phoenix Contact*, un optoacoplador análogo.
- Para programar los equipos de telemetría se usa el *MT Manager*.
- El protocolo de comunicaciones es MODBUS RTU.
- Se utiliza una válvula de seccionamiento *PLC Allan Bradley Micrologix 12001762-IF4*.

Los modos de operación del sistema son:

- Modo Remoto HMI –CCO: aquí se interconecta la información de la subestación con el sistema supervisor de la Planta de Ecopetrol.
- Modo Local en Sitio: es la operación directa en la subestación La María a través de los módulos de telemetría interconectados localmente.
- Modo Manual en Sitio: cuando se da la orden sobre el actuador sin intervención de los módulos de telemetría.

La interconexión de los sensores de densidad y flujo, voltaje de baterías, presión de entrada y presión de salida de la línea, presión de nitrógeno (fuente de suministro neumático) a las entradas del *PLC Micrologix 12001762-IF4* y el Módulo de Telemetría *Inventia MT-102*, en tanto, el diagrama de flujo del sistema hidráulico y neumático local se aprecia en la Figura 3.

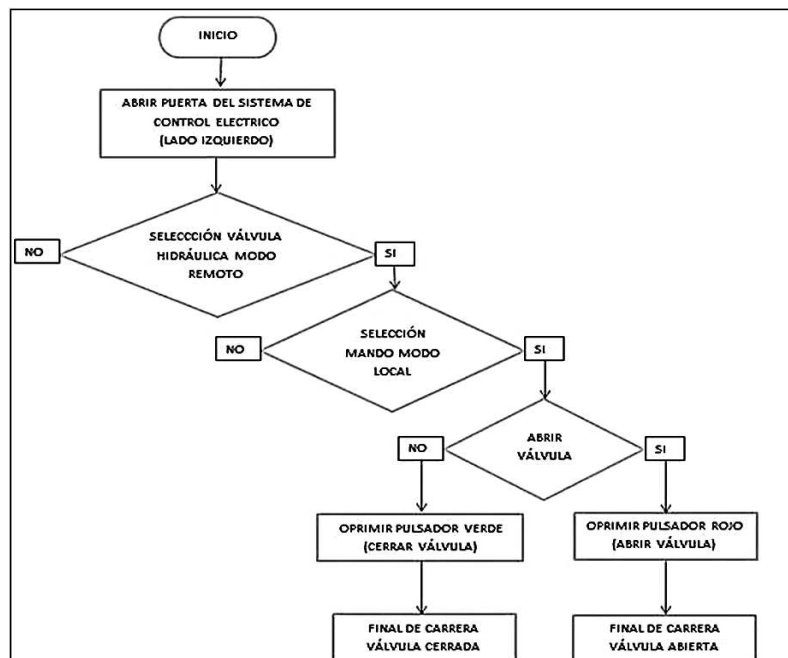


Figura 3. Diagrama de flujo Sistema hidro-neumático

Como se expresa en la fase de prueba, una pipa de nitrógeno es fuente de suministro neumático, debido a la carencia de energía eléctrica en el sitio, y un panel de energía fotovoltaica, con su respectivo sistema de almacenamiento y cargue de baterías, para la alimentación del voltaje de los módulos de Telemetría y dispositivos de la arquitectura de control del sistema descritos.

2.3 Fase de implementación

A continuación se presentan los resultados de la implementación de la obra civil en la Subestación La María con el fin de brindar seguridad y protección a los equipos y elementos del sistema de telemetría. La Figura 4 ilustra el sistema neumático con el suministro de nitrógeno como fuente de alimentación, ya que, no es factible utilizar un compresor por las dificultades de energía eléctrica y consumos que requiere.

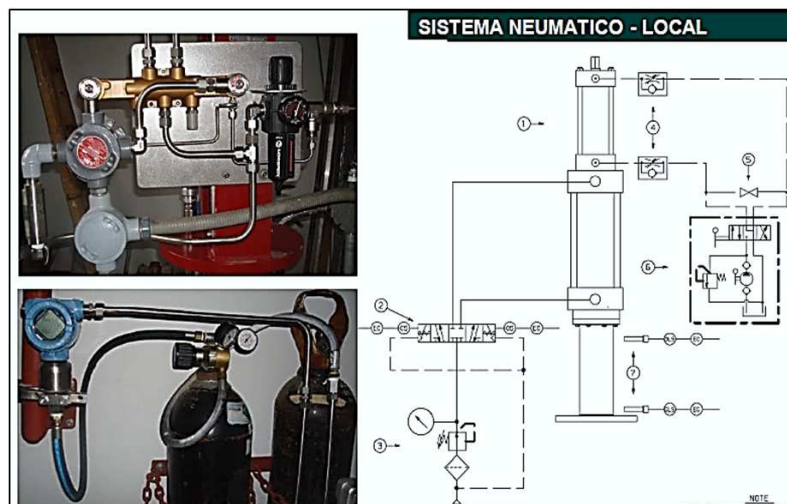


Figura 4. Sistema Neumático implementado

Para la operación manual del tablero de control en la subestación la María se procede así:

- Su ingreso se hace a través de la puerta caseta lado izquierdo.
- Al ingreso se debe activar la apertura de caseta, si no es normalizada la señal en un tiempo determinado se genera una señal de alarma (intruso).
- Se procede a abrir el tablero de control. En la parte superior del panel de control, está la señalización de estados de la válvula mediante pilotos, a saber: Sistema en Falla, Mando local Remoto, Válvula Cerrada, Válvula Abierta. Mientras que en la parte inferior se debe:

Probar salidas, Selector para Mando local-Remoto, Pulsador Cerrar Válvula y Pulsador Abrir Válvula.

- Una vez realizada la maniobra y normalizado el sistema se asegura que el selector de mando quede en la posición Remota, para que pueda ser operado desde Manizales o CCO.

El tablero de control (Figura 5) se compone de: Módulo de Telemetría Remoto, *PLC Micrologix1200* más módulos para señales, Regulador Panel Solar, Borneras de conexionado, Tablero de control con señalización y relés de estado sólido, así como la evidencia de interconexión de los módulos de telemetría y el sistema de control automatizado con el sistema supervisor de Ecopetrol en pleno funcionamiento y operación, e Interconexión del sistema con el HDMI de Ecopetrol.

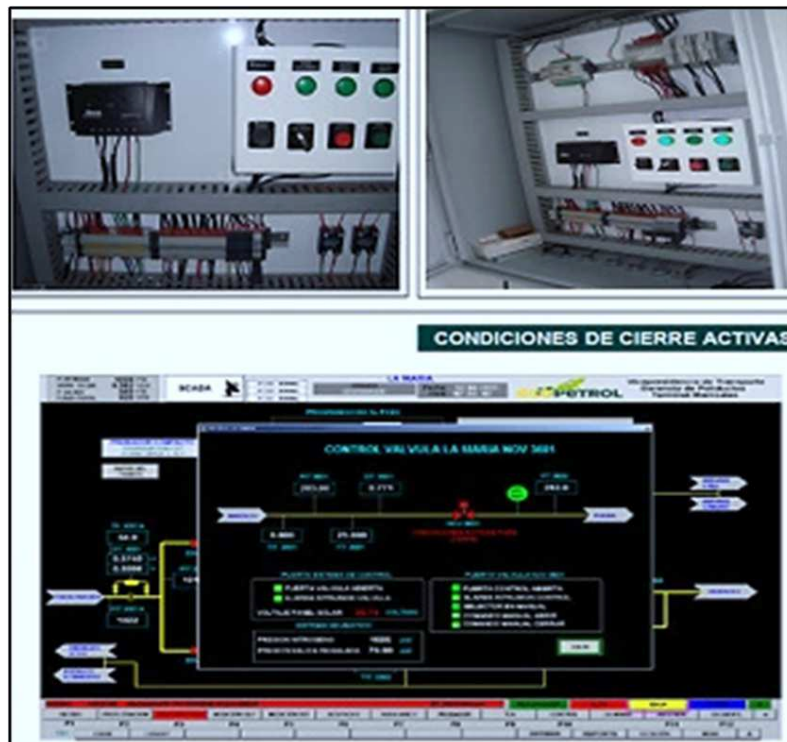


Figura 5. Tablero de control e Interconexión del Sistema con el HDMI de Ecopetrol

3. Resultados y discusión

La viabilidad del proyecto se obtiene a partir del prototipo de diseño e implementado con los equipos de telemetría *Inventia MT102* y *MT202*, a través de la red GPRS del operador Movistar, realizando la prueba

desde el lugar de ubicación de la válvula (Subestación La María) dejando el actuador en la planta de Ecopetrol Manizales, cumpliendo con todos los requerimientos técnicos exigidos por la empresa para proceder a la automatización del actuador neumático, dejando claro que este se encontraba alimentado por un cilindro de Nitrógeno de 100 libras.

El desarrollo de las pruebas de campo permite operar el actuador neumático a través de los equipos de telemetría para realizar los ajustes necesarios en la fase de prueba. Para garantizar la confiabilidad y correcto funcionamiento de los equipos, empleando energía fotovoltaica, y teniendo en cuenta, las dimensiones físicas del actuador que no permitía instalarse en la caseta existente, es necesario realizar un análisis y propuesta de mejoras y acondicionamiento de seguridad a través de una obra civil que cumpliera con las especificaciones técnicas del proyecto, normatividad y exigencias en el área a prueba de explosión.

Las variables sobre las cuales se determina la telemetría son densidad de flujo del producto, presión de entrada y presión de salida en la línea, presión del nitrógeno en el cilindro de almacenamiento y nivel de tensión en las baterías para determinar su porcentaje de carga con base en el consumo de los equipos.

Existe una amplia bibliografía y aplicaciones en el campo de la Automatización Industrial que emplean radioenlace que, aunque permiten manejar variables a distancia, no logran la misma confiabilidad y respuesta que el Sistema GPRS empleado en el proyecto. El uso de energías alternativas para la alimentación de la iluminación, los equipos y el actuador neumático constituyen una opción viable para aquellos lugares donde, por los costos de instalación y distribución de las redes eléctricas y de aire comprimido en el área de aplicación, el servicio eléctrico convencional se hace prácticamente inaccesible.

4. Conclusiones

Para crear un prototipo se requieren adquirir diversos equipos de diferentes fabricantes con base en las especificaciones técnicas del proyecto, pero es necesario realizar las pruebas de los mismos con el fin de seleccionar aquellos que generen mayor confiabilidad y optimización de costos de mantenimiento, operación y seguridad, con base en la normatividad y exigencias en el área a prueba de explosión, como particularidad del proyecto.

Para garantizar que el diseño del sistema de monitoreo y control del proyecto es necesario realizar un análisis y verificación en campo de los manuales técnicos y de usuario de cada equipo confrontando los

resultados obtenidos en las pruebas según los parámetros de error permitidos a nivel de telemetría, automatización y control de procesos petroquímicos.

Este proyecto contribuye a la mitigación ambiental de las quebradas del área de Influencia del poliducto Puerto Salgar Cartago, ya que, el sistema existente generaba sobrecostos por desplazamiento de operarios desde la ciudad de Manizales, y retardo en la implementación de una solución, puesto que para cerrar la válvula de manera manual en caso de un accidente o incidente podría ocasionar pérdidas ambientales e incluso humanas de proporciones gigantescas.

La perdurabilidad del proyecto está estrechamente ligada en la implementación y adecuación de la obra civil realizada, ya que, ella permite la protección de equipos frente a robo y del sistema ante condiciones atmosféricas y ambientales que perturben el comportamiento normal del sistema.

La implementación de fuentes energéticas alternativas, como las desarrolladas en el proyecto (neumática y fotovoltaica), no solo garantizan la viabilidad del mismo, sino que pueden ser replicables a otros lugares remotos del país donde es demasiado costoso la generación y transporte de energía eléctrica.

Referencias bibliográficas

- ALMARIO OSPINO, Reinaldo; RAMÓN VALENCIA, Bladimir Azdrúbal & RAMÓN VALENCIA, Jaciapt Alexander (2011). Sistema de adquisición de datos para el monitoreo de la calidad del agua a través de las variables de pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto [en línea]. En: Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 1, No. 17. Pamplona (Colombia): Universidad de Pamplona, Vicerrectoría de Investigaciones. P. 74-80. ISSN: 1692-7257. <http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/174/171> [consulta: 16/02/2014]
- ALMAZÁN RODRÍGUEZ, Eloísa & MARTÍNEZ FLORES, Audec (2010). Servicio general de paquetes de radio (GPRS) [en línea]. Seminario (Telefonía celular y protección de sus enlaces en comunicaciones). Culhuacán (México): Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 47 p. <<http://tesis.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/5736/1/ice47.pdf>> [consulta: 23/03/2014]
- ÁLVAREZ BROTONS, Xavier (2004). Capítulo 2. Sistemas de control [en línea]. En: _____ (2004). Control predictivo de canales de riego utilizando modelos de predicción de tipo Muskingum (primer orden) y de tipo Hayami (segundo orden) Tesina. Barcelona (España): Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental <<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3330/5/34059-5.pdf>> [consulta: 13/02/2014]
- BORBOR MOREIRA, Freddy Xavier; BRAVO BORJA, Wander Moisés & ESPINOZA TOALA, Zully Esmeralda (2011). Diseño y prototipo de un sistema de autenticación sobre una red GPRS para la seguridad en el servicio de transporte público [en línea]. Tesina de Seminario (Ingeniero en Ciencias Computacionales, especialización Sistemas Tecnológicos). Guayaquil (Ecuador): Escuela Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. 89 p. <<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19938/2/Bravo-Borbor-Espinoza.pdf>> [consulta: 23/03/2014]

- DÍAZ ILLA, Michael Alejandro (2005). Medición de profundidad de reservorios, ríos y lagos a través de telemetría para obtener la sección transversal [en línea]. Tesis para título profesional (Ingeniero Electrónico): Lima (Perú): Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica. 119 p. + anexos. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/2660/1/diaz_im.pdf> [consulta: 10/02/2014]
- DURÁN ACEVEDO, Cristhian Manuel & CASTRO MIRANDA, Reynaldo Alfonso (2012). Comunicación inalámbrica basada en tecnología Bluetooth para la automatización de procesos industriales [en línea]. En: El Hombre y la Máquina, No. 39 (may-ago). Cali (Colombia): Universidad Autónoma de Occidente. p. 26-32. ISSN: 0121-0777. <http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/39%202012-2/Comunicacion_inalambrica.pdf> [consulta: 04/04/2014]
- HERNÁNDEZ GOUDET, Carolina & LEZAMA FERMÍN, Laura Elena (2010). Evaluación de los criterios de control asociados al sistema de transporte y distribución de gas metano en Venezuela [en línea]. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Cumaná (Venezuela): Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. 109 p. <<http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2805/1/079-TESIS.IQ.pdf>> [consulta: 12/02/2014]
- JARAMILLO ZAMORA, Alex Wladimir & TINOCO TORRES, Crhistian Paul (2011). Diseño e implementación de un sistema de telemetría para el monitoreo climatológico a través del uso de la red celular GPRS [en línea]. Proyecto de fin de carrera (Ingeniero en Electrónica y telecomunicaciones). Loja (Ecuador): Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones. 99 p. <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1101/3/Utpl_Jaramillo_Zamora_Alex_621x156.rar> [consulta: 18/03/2014]
- MARINO DODGE, Juan Carlos (2011). Telemetría usando redes de datos de telefonía celular [en línea]. En: Ingeniarte, Vol. 11, No. 11. Barranquilla (Colombia): Universidad Libre. p. 67-78. ISSN: 1909-2458. <<http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/revistas2/index.php/ingeniare/article/view/170>> [consulta: 23/03/2014]
- MORERA GRANADOS, David Saúl (2012). Estudio comparativo de tecnologías de comunicación para enlaces de Telemetría [en línea]. Proyecto de terminación de carrera (Bachiller en Ingeniería Eléctrica). San José (Costa Rica): Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica. 121 p. <http://www3.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2012/pb2012_051.pdf> [consulta: 19/02/2014]
- ORTIZ MENCHACA, Gustavo Adolfo (2011). Instrumentación e implementación de un sistema de telemetría de una planta desaladora [en línea]. Tesis (Ingeniero en Telecomunicaciones). México, D.F. (México): Universidad Nacional Autónoma de México. 71 p. <<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/158>> [consulta: 10/04/2014]
- OYARCE MIÑO, Andrés Reynaldo (2009). Implementación del Protocolo Modbus Sobre una Tarjeta de Desarrollo para su uso sobre una Red GSM con enfoque en Telemetría [en línea]. Memoria de grado (Ingeniero Civil Electricista). Santiago de Chile (Chile): Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil Eléctrica. <<http://tesis.uchile.cl/handle/2250/103392>> [consulta: 20/03/2014]
- PONSA, Pere & GRANOLLERS, Antoni (2009). Diseño y Automatización Industrial [en línea]. Barcelona (España). Universidad Politécnica de Catalunya, 30 p. <<http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>> [consulta: 16/03/2014]
- QUICHIMBO ARMIJOS, Luis Alfredo & REYES ABARCA, Fernando Israel (2012). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de variables hidráulicas de la red de agua potable de la UTPL, utilizando la plataforma GPRS [en línea]. Trabajo de fin de carrera (Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones). Loja (Ecuador): Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de electrónica y Telecomunicaciones. 74 p. + anexos. <file:///D:/Downloads/Utpl_Reyes_Abarca_Luis_621x173.pdf> [consulta: 20/03/2014]
- ROSEÑO CASTILLO, Rosario (2010). SCADA del sistema de distribución de agua de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento [en línea] En: Jornadas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FIEE 2010 (11/2010). Quito (Ecuador): Escuela Politécnica Nacional. <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3695/1/2010AJIEE-21.pdf>> [consulta: 10/02/2014]
- SALAS RIVERO, Isabel Cristina (2004). Expansión tecnológica en telemetría para operaciones de producción petrolera [en línea]. En: Télematique: Revista electrónica de estudios telemáticos, Vol. 3, No 2. Maracaibo (Venezuela): Universidad Rafael Belloso Chacín. p. 38-51. ISSN: 1856-4194 <<http://publicaciones.urbe.edu/index.php/telematique/article/view/786/1900>> [consulta: 10/02/2014].

- SARAVIA VALLE, Elizabeth; RUIZ RIVERA, María Elena & CALMET AGNELLI, Roberto (2013). Diseño de un sistema móvil para la lectura de medidores mediante tecnología Bluetooth [en línea]. Industrial Data, Vol. 16, No. 1, Lima (Perú): Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, p. 134-143. e-ISSN: 1810-9993. <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/publicaciones/indata/v16_n1/pdf/a16v16n1.pdf> [consulta: 16/04/2014]
- WANG, Zhu; HAO, Xiao-qiang & WEI, De-bao (2010). Remote Water Quality Monitoring System Based on WSN and GPRS [online]. In: Instrument Technique and Sensor, Vol. 1, Beijing (Cina): Tsinghua University. <http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-YBJS201001018.htm> [consulta: 16/04/2014]